

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)  
ООО «НПО «Группа Компаний Машиностроения и Приборостроения»  
ООО «НПО «Измеритель»  
ООО «ФЕРРИ ВАТТ»  
Группа компаний «Криосистемы»

Российское научно-техническое вакуумное общество им. акад. С. А. Векшинского  
Проводится при поддержке  
Министерства промышленности и торговли Российской Федерации и  
Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

**20–22 июня 2023**  
**Санкт-Петербург, Россия**

-----  
**June 20-22, 2023**  
**St. Petersburg, Russia**

30th All-Russian Conference with International Participation  
«VACUUM TECHNIQUE AND TECHNOLOGY – 2023»



**Труды 30-й Всероссийской научно-технической  
конференции с международным участием  
«ВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА  
и ТЕХНОЛОГИИ – 2023»**

**20–22 июня 2023 г.**  
**Санкт-Петербург**

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)  
ООО «НПО «Группа Компаний Машиностроения и Приборостроения»  
ООО «НПО «Измеритель»  
ООО «ФЕРРИ ВАТТ»  
Группа компаний «Криосистемы»  
Российское научно-техническое вакуумное общество им. акад. С. А. Векшинского  
Проводится при поддержке  
Министерства промышленности и торговли Российской Федерации и  
Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

20–22 июня 2023  
Санкт-Петербург, Россия

-----  
June 20-22, 2023  
St. Petersburg, Russia

30th All-Russian Conference with International Participation  
«VACUUM TECHNIQUE AND TECHNOLOGY – 2023»



**Труды 30-й Всероссийской научно-технической  
конференции с международным участием  
«ВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА  
и ТЕХНОЛОГИИ – 2023»**

20–22 июня 2023 г.  
Санкт-Петербург

Вакуумная техника и технологии - 2023. Труды 30-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. 20-22 июня 2023 г./ под ред. Тетерука Р.А., Анцуковой А.И, Шарифуллиной К.Р.– СПб.:Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023.-397 с.

Труды составлены по материалам докладов, представленных на 30-ю Всероссийскую научно-техническую конференцию с международным участием. В материалах докладов изложены результаты исследований в области физики вакуума, вакуумметрии, масс-спектрометрии и контроля герметичности. Рассмотрены актуальные вопросы получения вакуума, создания вакуумного оборудования и разработки новых технологических процессов. Особое внимание уделено решению задач вакуумной техники в формировании пленок и покрытий плазменными и смежными методами, изучению свойств покрытий и методам их исследования, новым материалам покрытий, в том числе наноматериалам, новым областям их использования, разработке современного оборудования и технологических процессов, применению вакуумных технологий в промышленности и научных исследованиях и, в частности, в атомной промышленности, металлургии и добывающих отраслях.

#### **Программный комитет**

Пронин А.Н. – генеральный директор ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева» - председатель.

Тетерук Р.А. – руководитель НИО государственных эталонов в области измерений давления ФГУП «ВНИИМ им. Д.И.Менделеева» – зам. председателя.

Шаповалов В.И. – профессор Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) – сопредседатель по секции «Вакуумная техника».

Розанов Л.Н. – профессор ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» – зам. председателя.

Нестеров С.Б. – президент РНТВО имени академика С.А. Векшинского – член оргкомитета.

Полянский В.А. – директор ФГБУН «Институт Проблем Машиноведения Российской Академии Наук» – член оргкомитета.

Чернышенко А.А. – руководитель НИЛ госэталонов и научных исследований в области измерений низкого абсолютного давления (вакуума) ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева» – сопредседатель по секции «Контроль герметичности».

Кузнецов В.Г. – руководитель лаборатории ИПМаш РАН - сопредседатель по секции «Вакуумные технологии».

Капустин Е.Н. – генеральный директор ОАО «Вакууммаш» – член оргкомитета.

Марцынюков С.А. – доцент Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) – член оргкомитета.

Добрецов К.Г. – директор по маркетингу ООО «НПО «Измеритель» – член оргкомитета.

Желонкин Я.О. – генеральный директор ООО «ФЕРРИ ВАТТ» – член оргкомитета.

Бурмистров А.В. – проректор по учебной работе КНИТУ, Россия, Казань – член оргкомитета.

Одинокое В.В. – зам. ген. директора по науке ОАО НИИТМ (Научно-исследовательский институт точного машиностроения), Россия, Москва – член оргкомитета.

Панфилов Ю.В. – зав. кафедрой «Электронные технологии в машиностроении» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Россия, Москва – член оргкомитета.

Потрахов Н.Н. – зав. кафедрой «Электронные приборы и устройства» «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) – член оргкомитета.

Кострин Д.К. – доцент кафедры «Электронные приборы и устройства» «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) – член оргкомитета.

Колесник Л.Л. – ученый секретарь РНТВО имени академика С.А. Векшинского – член оргкомитета.

Ответственность за достоверность сведений и сохранение государственной или корпоративной тайны несут авторы публикаций.

ISBN 978-5-7629-3204-2

## Содержание

### Секция «Пленарные доклады»

1. Гордимся прошлым. Создаём будущее. Вакууммашу-80!  
*Е. Н. Капустин и А. Е. Капустин* 16
2. Российское научно-техническое вакуумное общество имени академика С.А. Векшинского.  
Современное состояние и перспективы развития  
*С. Б. Нестеров* 24
3. «Послезавтра» вакуумных технологий  
*Я. О. Желонкин* 30

### Секция «Вакуумная техника»

4. Моделирование рабочего процесса бесконтактных вакуумных насосов  
*А. В. Бурмистров, А. А. Райков, С. И. Саликеев* 35
5. Требования к элементной базе газовакуумных систем технологического оборудования  
*С. В. Сажнев* 40
6. Вакуумплотная слабо проводящая керамика на основе алюмината бария  
*А. А. Жданок, Л. К. Бердникова, З. А. Кортаева, Б. П. Толочко, В. В. Булгаков, Д. А. Краснов* 43
7. Вопросы разработки прогреваемых сверхвысоковакуумных разъёмных соединений  
*А. Е. Вязовецкова, В. В. Вязовецков, Л. К. Кузнецова, Ю. С. Шпанский* 46
8. Численное моделирование системы откачки вакуумной камеры при импульсно-периодическом натекании  
*А. А. Моисеев, А. А. Филатов, А. А. Кишалов, П. Г. Смирнов* 51
9. Моделирование сверхвысоковакуумной откачки оборудования шлюзового типа  
*Ю. В. Панфилов, Л. Л. Колесник, Г. М. Сокол, А. Тьмина* 55
10. Вакуумная техника в производстве и применении гиротронов  
*А.П. Фокин, А.А. Ананичев, М.Д. Проявин, А.Н. Куфтин, Е.В. Пияшова, С.Ю. Корнишин, Е.А. Солуянова, Е.М. Тай, М.Ю. Глявин* 60
11. Насосы сверхвысоковакуумные производства ООО «Катод»  
*Н.Б. Кислый, П.Г. Нечаев* 64

### Секция «Вакуумные технологии»

12. О важности проведения подстуживания расплава при индукционной плавке и гомогенизации слитка под прокатку листов и лент из сплава 29НК-ВИ  
*П.А. Головкин* 72
13. Кинетическая теория разлёта плазмы катодного факела  
*В. Ю. Кожевников, А. В. Козырев, А. О. Коковин, Н. С. Семенюк, В. С. Игумнов* 79
14. Влияние давления в рабочей камере технологической установки на взаимодействие плазмы с поверхностью изделия при низкотемпературном плазменном упрочнении  
*Б. М. Бржозовский, Е. П. Зинина и В. В. Мартынов* 84

15.	Разработка манипулятора для обработки кремниевых пластин в вакуумной камере <i>Д. К. Капустин, И. А. Белянов, А. А. Осипов</i>	88
16.	Применение вакуумных технологий в производстве теплоизолированных труб <i>В. Г. Дураков</i>	93
17.	Изучение влияния расхода кислорода на скорость осаждения покрытия на основе Zr-Y при магнетронном распылении с охлаждаемой мишенью <i>Г. В. Качалин, А. Ф. Медников, К. С. Медведев, А. И. Бычков и О. С. Зилова</i>	98
18.	Деарсенация золотосодержащих концентратов в вакууме без принудительного перемещения дисперсной среды <i>С. А. Требухов, В. Н. Володин, А. В. Ниценко, К. А. Линник, Е. А. Гапуров</i>	104
19.	Распределение редких элементов при вакуум-дистилляционной переработке полиметаллических штейнов <i>В. Н. Володин, С. А. Требухов, А. В. Ниценко, А. А. Требухов, Ф. Х. Тулеутай</i>	110
20.	Анализ температурных условий в растущем покрытии и подложке в процессе реализации вакуумнодугового ионноплазменного (arc-PVD) метода <i>А. В. Черногор, Д. С. Белов, А. П. Демиров, И. В. Блинков</i>	114
21.	Разработка исследовательского CVD оборудования <i>О. Ю. Гончаров, Л. Х. Балдаев</i>	118
22.	Фото- и радиационно-индуцированный катализ с применением наночастиц Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> <i>С. Ю. Соковнин, А. С. Герасимов, М. Е. Балезин</i>	124
23.	Влияние постоянного магнитного поля на фотoluminesценцию нанофторидов бария и кальция <i>С. Ю. Соковнин, В. Г. Ильвес, М. Г. Зуев</i>	129
24.	Влияние технологических параметров нанесения на структуру и свойства катодно-дуговых четырехэлементных покрытий Al-Cr-B-N <i>В. А. Латицкая, Т. А. Кузнецова, Б. Вархолински, А. В. Хабарова, А. Гилевич, С. А. Чижижик</i>	135
25.	Анализ кинетики нагревания подложки при магнетронном распылении сэндвич мишени медь-титан <i>М. О. Иванцов, В. И. Шаповалов</i>	138
26.	Организация промышленного производства отечественных установок молекулярного напыления проточно-вакуумного типа <i>В. В. Антипов, В. С. Балахнин, В. А. Гладченко, А. А. Малков, А. В. Москалев, А. А. Малыгин</i>	144
27.	Исследование фазового состава плазменного покрытия системы ZrO <sub>2</sub> - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <i>А. Л. Митрофанов, А. А. Лозован, С. Я. Бецофен, А. С. Ленковец</i>	150
28.	Низкотемпературное ионное азотирование титанового сплава ВТ6 <i>А. Ф. Тагиров, Р. Д. Агзамов</i>	154
29.	Разработка технологии вакуумного нанесения пассивационных слоев для резонаторов инжекционных лазеров <i>А. В. Фомин, Е. А. Анашкин, М. В. Лупачев, Е. М. Филоненко</i>	158
30.	Разработка режимов высокоэнергетической обработки в вакууме тонкопленочных резистивных слоев на основе сплава П65ХС <i>В. Д. Зуев, А. А. Рыжов, Д. В. Дерябин, С. А. Гурин, М. Д. Новичков</i>	164

31. Применение магнетронного распыления для формирования многослойных структур AlNi  
*Д. Е. Шашин, Н. И. Сушенцов, А. Д. Дьячков, П. Г. Габдуллин, О. Е. Квашенкина, В. Е. Бабюк* 170
32. Использование имитационных моделей Монте-Карло для подбора траектории перемещения модельного блиска при нанесении покрытия из плазмы вакуумно-дугового разряда  
*А. В. Олейник, К. Н. Рамазанов* 175
33. Опыт и перспективы использования низкотемпературного химического осаждения из газовой фазы вольфрама и его соединений для улучшения эксплуатационных свойств изделий  
*В. А. Смирнов, А. Н. Паиков, С. А. Вашин, В. В. Душик, А. А. Шапоренков, С. В. Евсеев* 180
34. Разработка установки реактивного магнетронного распыления промышленно типа  
*И. А. Белянов, Д. К. Капустин, А. А. Осипов* 184
35. Структура и свойства покрытия Al-Mg-B, сформированного ионно-плазменным методом на поверхности высокоэнтропийного сплава  
*Ю. Ф. Иванов, В. В. Шугуров, И. И. Ажажа, Е. А. Петрикова, О. С. Толкачев* 189
36. Структура и свойства покрытий TiN и AlN, нанесенных магнетронным методом, при изменении потока азота в камере  
*А. В. Хабарова, В. А. Латицкая, А. Л. Николаев, Е. В. Садырин, С. М. Айзикович, С. А. Чижик* 193
37. Моделирование теплового процесса при магнетронном распылении в аргоне сэндвич мишени Ti/Cu  
*Д. С. Шарковский, В. И. Шаповалов* 197
38. Разработка установки газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений для выращивания GaN на кремнии  
*М. Г. Бирюков, П. Е. Афонин, С. А. Щуренкова, Д. Ю. Пугачев, В. В. Лундин, Е. Е. Заварин, А. Ф. Цацульников, Д. С. Базаревский, Е. А. Калаушина* 202
39. Свойства плёнок Nb<sub>3</sub>Sn, полученных с помощью одновременного дугового и магнетронного напыления  
*Ю. Н. Юрьев, А. В. Юрьева, А. И. Савельев* 206
40. Роль фаз с-Ti<sub>0,5</sub>Al<sub>0,5</sub>N, с-AlN, с-TiN и ε-Al<sub>2</sub>Ti в увеличении защитного эффекта покрытий Ti<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N (x<0.6) и AlN в 3% растворе NaCl  
*А.Л.Каменева, В.Ф. Маточкин* 210
41. Ламинированный текстильный материал с экранирующими свойствами  
*А. Е. Карноухов, Э. Ф. Вознесенский, Ю. А. Тимошина, Я. О. Желонкин* 216
42. Вакуумно-плазменная технология модифицирования наполнителей для композиционных материалов  
*В. А. Стратанович, Л. Ф. Иванов* 220
43. Исследования по получению сварных металлокерамических соединений методом диффузионной сварки  
*М.С. Клокова, Г. В. Рогожин* 224
44. Изготовление лазерных зеркал с радиально зависимым коэффициентом отражения  
*В. Н. Горнов, А. И. Арефьев, Ю. Ю. Смирнов, А. П. Котов, Р. А. Бызов* 228

45. Определение термических коэффициентов линейного расширения в покрытиях  
*А. А. Лозован, С. Я. Бецофен, А. А. Ашмарин, А. С. Ленковец,  
 А. Н. Быкадоров, А. Л. Митрофанов* 233
46. Влияние скорости вращения подложки и порядка нанесения слоев на характеристики многослойных покрытий TiN/Cu/InSn  
*А. А. Лозован, С. Я. Бецофен, С. В. Савушкина, М. А. Ляховецкий, Е. П. Кубатина* 237
47. Многослойные композитные Ta/W покрытия, напыленные системой инвертированных магнетронов  
*А. А. Лозован, С. Я. Бецофен, А. С. Ленковец, Н. А. Иванов, Е. М. Рыбаков* 240
48. Исследование зависимости структуры покрытия от режимов нанесения методом магнетронного распыления для сыпучих материалов  
*К. Н. Каримов, Э. Ф. Вознесенский, Я. О. Желонкин* 244
49. Получение покрытий Ti-Al-Ta-Si-N методом реактивного магнетронного распыления  
*Е.Д. Кузьминов, А.Р. Шугуров, Ю.А. Гаранин* 248
50. Магнетронное осаждение CrAlN покрытий с плазменным ассистированием  
*Д. В. Сиделёв, Е. С. Осипова* 252
51. Тенденции развития технологий вакуумного корпусирования микросистем с применением газопоглотителей *А.Н. Бойко* 257
52. Формирование антиотражающего покрытия нитрида алюминия на экранах электронно-оптических преобразователей методом реактивного магнетронного распыления  
*Р. А. Каракулов, Д. Д. Зыков, Р. И. Нуртдинов, А. Ю. Соколов, П. И. Коновалов, Е. Н. Фёдоров* 258
53. Разработка покрытий для защиты авиационного остекления из поликарбоната от внешних факторов  
*Буднев А.Ю., Просовский О.Ф., Исамов А.Н., Просовский Ю.О., Смольянинов В.А.* 266
54. Перспективные разработки АО ОНПП Технология им. А.Г.Ромашина в области конструкционной и приборной оптики  
*Просовский О.Ф., Петрачков Д.Н., Хмельницкий А.К., Просовский Ю.О., Буднев А.Ю., Исамов А.Н., Смольянинов В.А.* 273
55. Технология получения сложных многослойных интерференционных покрытий  
*Просовский Ю.О., Просовский О.Ф., Буднев А.Ю., Исамов А.Н., Смольянинов В.А.* 279
56. Динамика изменения давления в камере плазменного фокуса в течение высоковольтной тренировки  
*Михайлов Ю.В., Прокуратов И.А.* 285

**Секция «Вакуумные измерения»**

57. Проблемы метрологического обеспечения крупногабаритных имитаторов солнечного излучения для термовакуумных испытаний  
*А. А. Шевчук, О. В. Пастушенко, В. В. Двирный и А. К. Шаров* 287
58. Перспективы развития жидкостной манометрии в области низкого абсолютного давления (0,1 – 1000 Па) *Т.А. Эйхвальд* 292
59. Научно-методические принципы технических решений увеличения эффективности метрологического обеспечения в области измерений низкого абсолютного давления вакуума  
*Д. Е. Сенатов, Р. Э. Кувандыков, Р. А. Тетерук, А. А. Чернышенко* 297

**Секция «Контроль герметичности»**

60. Испытания на герметичность разъемного соединения прототипа первой стенки ИТЭР масс-спектрометрическим методом течеискания  
*Н. В. Монтан, П. Ю. Пискарев, В. А. Васильев, Д. А. Киселев, М. С. Колесник, С. Н. Мазаев и А. С. Швертчко* 303
61. Исследование термоэлектронной эмиссии ЭВП после герметизации течей  
*Г. А. Жабин, С.А. Вашин, Е.А. Стройков* 308
62. Основные проблемы современных отечественных средств измерений, применяемых при контроле герметичности масс-спектрометрическим методам  
*Д. М. Фомин* 313
63. Применение масс-спектрометрии для оптимизации процесса термовакуумной обработки ЭВП СВЧ  
*Д. К. Черченко, Ю. Н. Парамонов, Д. А. Калашников, В. М. Саблин* 317

**Секция «Вакуумные технологии в космической и атомной отраслях»**

64. Наземный измерительно-калибровочный комплекс на основе крупногабаритной криогенно-вакуумной камеры для радиометрической калибровки аппаратуры ДЗЗ  
*С. М. Зорин, Д. О. Трофимов, Ю. М. Гектин* 323
65. Вакуумные камеры для охлаждения ФПУ в составе комплекса аппаратуры для наземных испытаний астрофизической обсерватории «Спектр-УФ»  
*Г. М. Бубнов, В. Ф. Вдовин, А. И. Елисеев, В. В. Корчагин, И. В. Леснов, М. А. Мансфельд, Н. В. Тятюшкин* 331
66. Термовакуумная камера для испытаний с расширенным диапазоном температур  
*А.Ю. Кочетков* 336
67. Применение газопоглотителей водорода при вакуумных испытаниях внутрикамерных компонентов реактора ИТЭР  
*Д. А. Киселев, А. Н. Маханьков, С. Н. Мазаев, В. А. Васильев* 340
68. Вызовы и решения на пути создания особо крупногабаритных стендов для термовакуумных и термобалансных испытаний космических аппаратов для перспективных космических миссий  
*Д. Е. Алфимов, С. Б. Нестеров, А. А. Филатов* 347
69. Испытательные стенды наземной экспериментальной отработки космических и летательных аппаратов  
*Д. Е. Алфимов* 351
70. Стенд для имитации солнечного ветра: анализ требований, области применения и метрологическое обеспечение  
*Е. А. Шилов, А. А. Филатов, А. А. Кишалов, П. Г. Смирнов, А. А. Моисеев* 357
71. Компьютерное моделирование и экспериментальная отработка перспективных систем инфракрасного нагрева: на пути к созданию виртуальной лаборатории термовакуумных испытаний  
*А. А. Филатов, А. А. Кишалов, П. Г. Смирнов, А. А. Моисеев* 361



72. Численное моделирование и экспериментальная валидация ИК нагревателей различной формы  
*А. А. Моисеев, А. А. Филатов, А. А. Кишалов, П. Г. Смирнов* 367
73. Статус работ по вакуумной системе инжектора СКИФ  
*А. М. Семенов, В. В. Анашин, Л. Л. Белова, А. Н. Журавлев, А. А. Краснов, В. С., Кузьминых, А. Е. Левичев, Е. Б. Левичев, О. И. Мешков, О. А. Павлов, П. А. Пиминов, С. В. Синяткин* 374
74. Оптимизация системы откачки и расчёт динамического давления в накопителе СКИФ  
*В. В. Анашин, В. А. Кайгородцев, А. А. Краснов* 379
75. Development of vacuum equipment for sub-terahertz astronomy and space missions  
*A. N. Chernikov, A. A. Gunbina, V. S. Edelman, A. I. Eliseev, A. Krasilnikov, I. V. Lesnov, M. A. Mansfeld, N. V. Tyatyushkin, E. L. Pevzner, A. V. Vdovin, V. F. Vdovin* 384
76. Реактивное магнетронное распыление *В. И Шановалов* 389